

基于数据治理的油水井预警统计优化研究与实践

刘翠霞, 冯忠丹, 王垚, 穆莹莹

大庆油田第三采油厂作业区, 黑龙江 大庆 163113

DOI:10.61369/ETQM.2026010017

摘 要 : 在油田数字化转型中, 预警系统是油水井生产状态的实时感知中枢, 其效能直接影响生产效率与运营安全。但海量预警引发的“信息过载”与“警报疲劳”, 已成为制约油水井运行时率提升的关键瓶颈。

本文以典型油田作业区为案例, 剖析传统预警系统的深层矛盾, 构建融合“单井信息聚合、多维动态分类、跨域数据联动”的预警统计优化体系。该体系通过状态锁定、参数防抖消除信息冗余; 通过分级分类可视化提升信息可读性与处置优先级; 通过打通数据壁垒实现预警智能校验与虚实甄别。

经现场验证, 作业区日均预警量降低近 1/3, 异常处置效率提升超 70%, 油水井运行时率显著增长。本研究为解决油田数字化管理共性难题提供了实践路径, 对推动生产管理智能化、精益化具有重要参考价值。

关 键 词 : 油水井管理; 运行时率; 预警优化; 数据治理; 生产智能化; 数字化转型

Research and Practice on Statistical Optimization of Oil and Water Well Early Warning Based on Data Governance

Liu Cuixia, Feng Zhongdan, Wang Yao, Mu Yingying

Operation Area of the Third Oil Production Plant of Daqing Oilfield, Daqing, Heilongjiang 163113

Abstract : In the digital transformation of oil fields, the early warning system is the real-time perception center of the production status of oil and water Wells, and its effectiveness directly affects production efficiency and operational safety. However, the "information overload" and "alarm fatigue" caused by a large number of early warnings have become the key bottlenecks restricting the improvement of the operating time rate of oil and water Wells.

This paper takes a typical oilfield operation area as a case to analyze the deep-seated contradictions of the traditional early warning system and construct an early warning statistics optimization system that integrates "single-well information aggregation, multi-dimensional dynamic classification, and cross-domain data linkage". This system eliminates information redundancy through state locking and parameter anti-jitter. Enhance the readability of information and the priority of processing through hierarchical and classified visualization. By breaking down data barriers, intelligent verification of early warnings and virtual-real discrimination can be achieved.

On-site verification shows that the average daily warning volume in the operation area has decreased by nearly one third, the efficiency of abnormal handling has increased by more than 70%, and the operating time rate of oil and water Wells has significantly grown. This research provides a practical path for solving the common problems in digital management of oil fields and has significant reference value for promoting the intelligence and lean management of production.

Keywords : oil and water well management; operational efficiency rate; early warning optimization; data governance; intelligent production; digital transformation

引言

油水井运行时率, 作为衡量油田开发作业精益程度与生产效率的核心指标, 其数值的微小波动都会对原油产量目标和油田开发经济效益产生直接而显著的影响。在当今油田生产数字化、智能化转型的大背景下, 依托于物联网、云计算与大数据技术构建的实时预警监控系统, 已然成为保障油水井平稳运行、实现故障早期干预不可或缺的技术手段。然而, 技术的先进性并非总能直接转化为管理的有效

性。在许多已经部署了先进监控系统的油田作业区，一个普遍的困境正在浮现：监控系统产生了海量的数据，但真正能够指导行动的有效信息却淹没其中。具体表现为预警信息重复推送、分类逻辑缺失、误报率居高不下，导致工程技术人员不得不耗费大量精力进行繁琐的人工筛选与甄别，从而使得对真实异常工况的处置响应严重滞后。这种“数据洪流”下的“决策饥渴”现象，严重制约了数字化系统潜能的充分发挥，使得提升油水井运行时率的目标面临挑战。

因此，探索如何通过科学的数据统计方法与系统性的流程优化，对现有的预警信息处理流程进行重塑与升级，实现从被动、低效的“数据监控”向主动、精准的“智能诊断”的战略性跨越，已成为油田企业深化数字化转型、挖掘存量资产潜力的关键课题。本文立足于这一现实需求，旨在深入分析预警系统应用瓶颈的根源，并构建一套行之有效的预警统计优化体系，最后通过现场实践数据验证其效能，以期为油田的智能化生产管理提供一套可借鉴、可推广的解决方案。

一、问题概述与成因深度剖析

（一）预警系统应用现状与问题具体表现

本研究聚焦于一个管理着近千口油水井的典型作业区。该区已全面部署了覆盖所有生产井的智能预警系统，通过安装在井口的多种传感器，实现了对生产关键参数的持续采集与监控。然而，在系统投入运行后，其实际效果与预期存在较大差距，集中表现为以下三个方面：

1. 信息冗余严重，重复推送泛滥

系统对于同一口井发生的同一类故障，由于参数在故障状态下的持续存在或波动，会按照固定的时间周期反复触发和推送内容高度相似的预警信息。这种缺乏状态持续识别的机制，导致单口故障井在一天内可能产生数十条无效预警，严重挤占了有限的监控注意力资源，使得真正需要紧急处置的预警信息面临被淹没的风险。

2. 分类逻辑缺失，信息呈现无序

现有的预警平台界面往往采用简单的时序列表方式呈现信息，缺乏基于业务逻辑的结构化分类与优先级排序。不同紧急程度、不同故障类型、不同井号的预警信息杂乱无章地混杂在一起。监控人员为了找到高优先级的任务，必须进行大量重复的人工扫描与筛选工作，这不仅效率低下，而且极易因视觉疲劳导致关键信息被遗漏。

3. 虚实偏差显著，误报率居高不下

预警系统的判定逻辑严重依赖于预设的固定阈值，而未能充分考虑油田生产的复杂性与动态性。例如，对于间歇采油井、计划性检修、热洗作业等特定工况，其正常的生产参数变化极易触发系统的报警阈值，从而产生大量“虚警”。根据现场抽样统计，此类误报在预警总量中占有相当比例，这不仅极大地损耗了基层班组对预警系统的信任度，也造成了大量不必要的人力与物力资源浪费于现场核实工作。

二、核心成因深度剖析

上述问题的产生，是系统设计理念、数据架构与管理流程等多个层面因素共同作用的结果。

（一）算法模型固有缺陷

传统的预警模型多采用基于固定阈值的单向、静态触发机

制。这种模型设计简单，但其核心缺陷在于缺乏对生产“上下文”的理解。它无法识别一口井是处于连续生产、间歇采油、计划关停还是维修作业状态，从而将各种正常工况下的参数波动也误判为异常。这是导致误报频发的根本技术原因。

（二）数据架构滞后与信息孤岛

在数据层面，预警系统往往作为一个独立模块存在，其数据存储结构未充分考虑与其他生产管理系统（如生产执行系统、设备管理系统、调度计划系统）的深度融合。数据之间缺乏有效的关联与索引，形成了“信息孤岛”。为了进行综合判断，技术人员不得不采用手工方式，在不同系统间反复切换、复制、粘贴、比对数据，流程极其繁琐且容易出错，这从底层架构上限制了处置效率的提升。

（三）人机交互设计不足，决策支持薄弱

预警平台的用户界面功能单一，主要侧重于原始数据的罗列，而未能有效地集成与预警处置相关的知识库、历史案例库以及标准作业程序等决策支持信息。技术人员在接收到一个预警后，需要依赖个人经验记忆和跨系统查询来进行判断，这不仅增加了认知负荷，也因个体经验差异引入了决策的不确定性与风险。

三、预警统计优化方法体系的构建与实施

为解决上述系统性痛点，本研究构建了一套多层次、一体化的预警统计优化方法体系。该体系的核心由三大相互支撑的支柱构成。

（一）单井汇总机制：从离散告警到连续状态管理

核心目标是消除针对同一对象的重复性、瞬态性干扰信息，将监控焦点从“一次次报警”转移到“井的持续状态”上。

1. 状态锁定规则：开发并实施了基于时间的状态持续判定逻辑。对于已确认发生故障（如杆管断裂、泵卡）并导致停产的井，系统会将其标记为一个特定的“长期故障状态”。在此状态持续期间，系统将自动屏蔽所有由该故障所衍生的、重复的参数越限预警，仅在井的维修状态发生变更（如作业完成、恢复生产）时，才重新激活全面监控。这从源头杜绝了无效报警的持续产生。

2. 参数防抖处理：针对那些易受瞬时干扰（如电网波动、设

备启停冲击)的生产参数,引入了在工业控制和软件工程中广泛应用的“滑动窗口”算法。通过设定一个合理的时间窗口,只有当参数在该窗口期内持续或多次超过阈值时,才被判定为一次有效的、需要推送的预警。这有效过滤了大部分的瞬时尖峰噪声。

3.人工干预接口:认识到全自动系统的局限性,为复杂多变的生产现场预留了灵活处置的空间。在预警平台设置了“计划性屏蔽”或“临时消警”功能,授权技术人员对已知的计划内作业(如定期热洗、措施作业、系统调试等)所涉及的井,进行手动、临时性的预警屏蔽,并可根据作业时长预设屏蔽有效期。

(二) 分类标记体系:实现信息的结构化与可视化

为了将无序的信息流转化为层次清晰、重点突出的“任务清单”,构建了一套多维度的分类标记标准,并利用信息化工具实现自动化可视管理。

紧急度维度(采用红色与加粗突出):用于标识那些已导致生产中断、或对安全、环境构成直接威胁的最高优先级预警,要求立即响应。

处置复杂度维度(采用黄色底纹标记):用于标识那些处置流程复杂、需要跨专业协作或调动外部资源的预警,要求制定详细方案并限期处置。

可信度维度(采用绿色勾选标识):基于历史数据回溯分析,对不同类型的预警规则进行可信度评级,高可信度预警给予更高的处置优先权。

数据来源维度(采用蓝色斜体区分):标明预警是由传感器直接测量触发,还是经由算法模型推断产生,有助于技术人员快速确定验证方向。

(三) 多维度联动机制:构建基于数据融合的智能校验

这是提升预警准确率、实现“去伪存真”的核心环节。其本质在于打破数据孤岛,让预警信息在与更广阔的生产上下文数据的关联碰撞中得到校验。

1.生产数据深度关联:通过开发数据接口与服务,实现预警系统与油田其他关键生产管理系统的自动对接与融合。系统能够自动校验每一口触发预警的井的实时生产状态与计划状态。例如:

自动与生产调度计划比对,识别处于计划关停、计划检修期内的井,其预警将被自动降级或标记为“计划内”。

自动与设备管理系统联动,确认井口或设备是否处于维修状态,从而屏蔽相关报警。

自动与工艺设计数据比对,校验报警参数是否在合理的设计范围之内。

建立和维护一个动态的“例外井名单”,对于经确认因特殊原因无需推送常规预警的井,系统自动过滤。

2.逻辑规则优化与算法重构:针对误报率最高的几类预警,重构其判定算法,从简单的“阈值判断”升级为“多条件、上下文感知的复合逻辑判断”。新的算法会综合考量井的生产模式、设备运行时序、多个参数间的关联性等多种因素,从而显著提升判定的准确性。例如,对于某类常见机械故障的预警,新算法会同时检查电流、载荷、运行时间等多个信号,并只有在特定组合条

件满足时才会最终触发。

3.视频联动验证:对于少数经过数据筛选后仍存疑的、或后果特别严重的高级别预警,建立与井场视频监控系统的联动机制。在预警触发时,可自动调用现场高清摄像头,通过图像识别技术或人工远程查看,对设备物理状态进行直观确认,形成“数据预警、视频复核”的闭环验证,极大提升了对重大故障判断的把握。

三、应用效果与综合效益分析

该优化体系在作业区经过一段时期的试运行与迭代优化后,其应用效果逐步显现,体现在运行效率、经济效益与管理提升等多个方面。

(一) 运行效率显著提升

1.预警质量实现质的飞跃:系统优化后,作业区日均有效预警推送量实现了大幅下降,降幅显著。其中,尤为突出的成果是重复性预警的数量得到了根本性控制,系统整体的误报率也下降了数十个百分点。预警信息的“信噪比”获得了根本性改善,监控人员接收到的信息价值密度显著提高。

2.处置效率大幅提速:得益于预警信息的有效聚合、清晰分类与初步的自动筛选,技术人员每日用于信息筛选和初步甄别的时间大幅缩短,工作效率提升显著。更快的识别速度直接转化为更快的现场响应,计划外停井的时间因此得到了有效压缩,最终直接推动了油水井综合运行时率实现了具有统计意义的显著提升。

3.管理流程得以优化:标准化、结构化的预警处置流程,减少了跨部门、跨层级沟通的不确定性,明确了各环节的责任与时限,使整个生产异常管理流程更加流畅、高效。

(二) 经济效益显著

1.直接人工成本节约:预警处理工作的自动化与智能化,降低了对人工进行重复性、低价值信息筛选工作的依赖。经过流程优化,可以有效释放部分人力资源,将其配置到更具创造性的技术分析或管理岗位,从而直接节约了人工成本。

2.运维费用降低:误报率的大幅下降,最直接的效益就是减少了为核实虚假警报而进行的非必要现场出车。这使得相关的车辆燃油费、维修保养费、里程损耗等运维费用得到了有效控制。

3.隐性效益巨大:因生产中断时间减少而带来的原油增产、因准确预警而避免的次生设备损坏与更大规模的生产事故、以及将高技能人才从繁琐工作中解放出来所产生的创新价值等,共同构成了更为巨大的隐性经济效益,其长远价值往往超过直接的成本节约。

(三) 技术创新与推广价值

1.模型通用性强:本研究构建的“数据治理→智能分类→联动校验”的三层优化架构,方法论清晰,所采用的技术组件成熟且通用,不依赖于特定厂商的系统,具有很强的行业普适性与可复制性,尤其适用于生产情况复杂、管理井数众多的油田作业区。

2.系统扩展性良好：本次优化的核心逻辑与数据处理流程采用模块化设计，可以较为方便地集成到油田现有的数字化管理平台中。这套体系为后续引入更高级的人工智能算法（如基于机器学习的故障预测模型）奠定了高质量的数据基础和框架准备。

3.标准前瞻性：在实践基础上总结提炼形成的工作规范与指导原则，为油田乃至行业层面推进生产监控的标准化、精细化管理工作提供了有价值的实践参考与理论支撑。

四、深化应用与未来展望

（一）当前推广进展与制度化建设

1.区域试点成功，全面推广启动：该预警统计优化方法在首发作业区成功实践后，其成效形成了良好的示范效应。目前，该方法已开始油田范围内更多同类型作业区进行推广实施，覆盖的油水井资产规模显著扩大。来自不同区域的初步反馈数据证实，该优化方法在不同环境下均能有效提升生产运行效率，验证了其鲁棒性与适应性。

2.培训体系同步构建，人才队伍得到赋能：为确保优化方法论能够被准确理解和有效执行，配套开发了系统的培训课程与实操手册。通过“理论讲解、平台实操、案例研讨”相结合的培训模式，有效提升了基层技术人员的数据素养和系统应用能力，为方法的成功落地与持续优化提供了人才保障。

3.管理制度实现标准化与绩效化：将优化后的预警处置流程、响应时效和质量标准纳入油田的生产管理绩效考核体系。通过设立关键绩效指标，将技术改进与管理提升紧密结合起来，形成了用数据驱动管理优化、用绩效保障技术落地的良性循环。

（二）未来技术演进方向

当前的优化方案主要解决了“感知”和“诊断”环节的效率与准确性问题。面向未来，油田的智能化管理将向“预测”和“自主”方向演进。

1.人工智能深度应用：下一步将重点引入深度学习和机器学习算法，利用积累的海量历史数据，训练故障预测与健康管理模型。这些模型能够更早地识别出设备的早期退化迹象，实现从“故障后报警”到“故障前预警”的转变，并能为每个预警给出量化的可信度评分与风险等级，进一步提升决策的智能化水平。

2.边缘计算前置处理：为应对物联网终端数量激增带来的数

据洪流，考虑将部分数据清洗、特征提取和实时推理能力下沉至井场边缘侧。通过在数据源头进行初步处理，只将有价值的信息和高级别预警上传至云端，可以极大减轻网络带宽和中心服务器的压力，提升系统的实时性与可靠性。

3.数字孪生技术融合：构建关键生产设施的数字孪生体，实现物理世界与虚拟世界的精准映射与交互。当预警发生时，不仅可以在数字孪生体中进行根因分析、过程推演和处置方案模拟，从而辅助制定最优决策；还可以基于历史与实时数据，在虚拟空间中进行预测性维护和运行优化，最终实现生产系统的安全、高效与自主运行。

五、结论

本文系统性地研究了在油田数字化转型背景下，如何通过优化预警统计方法来破解“信息过载”难题，进而有效提升油水井运行时率这一核心命题。研究通过深入剖析传统预警系统在实际应用中的痛点，构建了一套集成了管理理念与技术措施的综合性优化体系。该体系通过引入单井汇总机制从根本上消除了信息冗余，通过建立多维分类标记体系实现了信息的结构化与可视化，通过实施多维度数据联动机制大幅提升了预警的准确性与可信度。^[1-3]

现场实践成果充分证明，该优化体系是一套技术上行得通、经济上算得过来、管理上见效快的解决方案。它成功地将技术人员从海量、低效的信息筛选工作中解放出来，使其能够聚焦于异常根因分析、处置策略优化等更具价值的活动，从而全面提升了生产管理的精益化水平与应急响应能力。本研究不仅为当前油田数字化深化应用面临的共性挑战提供了经过实践检验的解决思路与可复用的方法论，更重要的是，它清晰地展示了一条通过数据驱动、流程重构与智能化技术渐进式融合来推动传统生产管理模式转型升级的有效路径。

展望未来，随着人工智能、边缘计算、数字孪生等前沿技术的不断成熟与渗透，油水井的生产监控与管理必将迈向一个更加智能、精准、高效的新阶段——一个具备自感知、自诊断、自预测、自决策能力的智慧管理新范式。本项研究在此演进历程中所做的探索与实践，无疑为这一宏伟目标的实现奠定了坚实的基石，并为推动油田企业的高质量发展与数字化转型注入了新的动能。

参考文献

[1] 赵金龙、丁健. 油田智能预警系统设计与应用 [J]. 石油勘探与开发, 2023, 50(3): 456-463.

[2] 孙逢亮. 油田机械设备状态监测与故障诊断技术研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (16): 163-165

[3] 马楠, 赵楚丹. 大数据分析在油田生产设备的故障诊断应用 [J]. 信息系统工程, 2023, (08): 44-47